



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2013

Methoden für die Hochwasserabschätzung

Viviroli, Daniel

Abstract: Die zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse eingesetzten Methoden lassen sich in drei Verfahrensgruppen unterteilen: Extremwertstatistik, regionalhydrologische Ansätze und Niederschlag-Abfluss-Modellierung. Bei allen Verfahren bestehen jeweils spezifische Vor- und Nachteile, welche im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich
ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-111466>
Book Section
Published Version

Originally published at:

Viviroli, Daniel (2013). Methoden für die Hochwasserabschätzung. In: Spreafico, Manfred; Viviroli, Daniel. Ausgewählte Beiträge zur Abschätzung von Hochwasser und Feststofftransport in der Schweiz - Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele. Bern: Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL), 47-50.

Beiträge zur Hydrologie der Schweiz
Nr. 40

Bern, Februar 2013

Herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für
Hydrologie und Limnologie (SGHL) und der Schweizerischen
Hydrologischen Kommission (CHy)

Manfred Spreafico und Daniel Viviroli

Ausgewählte Beiträge zur Abschätzung von Hochwasser und Feststofftransport in der Schweiz

Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele

Herausgeber

Manfred Spreafico
Geographisches Institut der Universität Bern
früher: Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

Daniel Viviroli
Belop GmbH, Sarnen
früher: Geographisches Institut der Universität Bern und Oeschger-Zentrum für
Klimaforschung

Druck

Publikation Digital AG

Bezug des Bandes

Hydrologische Kommission (CHy) der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (scnat)c/o

Geographisches Institut der Universität Bern
Hallerstrasse 12, 3012 Bern

<http://chy.scnatweb.ch>

Zitiervorschlag

Spreafico, Manfred und Daniel Viviroli (Hrsg.), 2013: Ausgewählte Beiträge zur Abschätzung von Hochwasser und Feststofftransport in der Schweiz - Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 40, Bern.

Die Herausgabe dieser Publikation wurde unterstützt von der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)



Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles

ISBN 978-3-033-03838-7

ISSN 1421-1130

© SGHL und CHy

6

Methoden für die Hochwasserabschätzung

Daniel Viviroli
Belop GmbH, Sarnen

Die zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse eingesetzten Methoden lassen sich in drei Verfahrensgruppen unterteilen: Extremwertstatistik, regionalhydrologische Ansätze und Niederschlag-Abfluss-Modellierung. Bei allen Verfahren bestehen jeweils spezifische Vor- und Nachteile, welche im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

6.1 Extremwertstatistik

Extremwertstatistische Methoden sind im Allgemeinen gut etabliert (z. B. DVWK, 1999; IH, 1999) und ohne grossen Aufwand anwendbar, allerdings können sie nur in Gebieten mit langen Abflussmessreihen eingesetzt werden (vgl. Miegel und Büttner, 2003). Zudem kann nicht berücksichtigt werden, dass die Entstehungsbedingungen von Hochwassern unterschiedlich sind und sich die hydrologischen Prozesse bei Extremereignissen verändern (Wood et al., 1990; Fontaine, 1995; Uhlenbrook und Steinbrich, 2002; Naef, 2007). Auch bezüglich Auswahl der geeigneten Extremalverteilung und der Parameterschätzmethode besteht eine gewisse Unsicherheit (Vogel et al., 1993; Klemeš, 2000), welche unter Umständen auch wesentlichen Einfluss auf die resultierenden Schätzungen haben kann. Eine Erhöhung der Prozessnähe kann allenfalls durch die Analyse von Ereignistypen erreicht werden (z. B. Merz, 2002; Diezig, 2006; Helbling, et al., 2006), und die Berücksichtigung von Niederschlagsextremwerten (vgl. Elsasser, 1996; Merz et al., 1999; siehe auch Gaume, 2006) oder der Einbezug vertrauenswürdiger historischer Hochwasser (z. B. Gees, 1996; Mudelsee et al., 2006) können die Aussagekraft einer Abschätzung ebenfalls steigern.

6.2 Regionalhydrologische Ansätze

Für Gebiete ohne Abflussmessungen wurden in der Vergangenheit vor allem regionalhydrologische Ansätze wie Hüllkurven oder empirische Formeln eingesetzt. Ihnen zugrunde liegt die Idee, hydrologische Grössen oder Parameter einfacher Modelle anhand von flächendeckend vorhandenen Gebietskennwerten zu bestimmen oder die vorhandenen Messungen auf ungemessene Räume zu übertragen. Jüngere derartige Arbeiten für den Alpenraum haben Weingartner (1999), Pfändler (2001), Barben (2003), Niggli (2004) sowie Merz und Blöschl (2005) verfasst. Seit einigen Jahren wird zudem der Einsatz Artifizierlicher Neuronaler Netzwerke (ANN) erprobt (z. B. Dawson et al., 2006).

Eine Auswahl von gut untersuchten, für die Schweiz relevanten regionalhydrologischen Verfahren ist im Programmpaket HQx_meso_CH (Barben, 2003) zusammengefasst und über eine sogenannte Praxishilfe (Spreafico et al., 2003) einer praktischen Anwendung zugänglich. Während diese Verfahren in einer Vielzahl von Gebieten übereinstimmend gute Schätzungen liefern, können sich die Resultate der einzelnen Verfahren zum Teil aber auch erheblich unterscheiden. Überlegungen zu hydrologischen Prozessen und Vorbedingungen fliessen in einzelnen Verfahren zwar ein (z. B. Kölla, 1986; Düster, 1994), werden aber nicht kausalanalytisch berücksichtigt, ebenso wenig wie die Ereignistypen. Anzumerken ist, dass die Anwendung dieser

Verfahren gemäss Spreafico et al. (2003) nur für den Skalenbereich von 10 bis 500 km² zu empfehlen ist. Für kleinere Gebiete sind andere Ansätze heranzuziehen, welche unter anderem auch stärker auf Feldstudien basieren sollten (vgl. Rickli und Forster, 1997; Dobmann, 2009). In der Praxishilfe wird dafür das Verfahren HAKESCH vorgeschlagen (Vogt, 2001; Vogt et al., 2002).

6.3 Niederschlag-Abfluss-Modellierung

Beim Einsatz von Niederschlag-Abfluss-Modellen wird in einem ersten Schritt die Hydrologie des interessierenden Einzugsgebietes simuliert. Die Genauigkeit, mit welcher die relevanten hydrologischen Prozesse dabei berücksichtigt werden, hängt vom zugrundeliegenden Modelltyp und den zur Verfügung stehenden Gebietsinformationen ab. Geschieht die Simulation ereignisbezogen, wird ein Bemessungsniederschlag auf das Gebiet appliziert und die Reaktion beurteilt. Angaben zur Wiederkehrperiode sind wegen grossen Unsicherheiten bei der Festlegung der Randbedingungen (v. a. Vorfeuchte, Verlauf der Niederschlagsintensität) in diesem Falle nicht möglich. Vorteilhafter ist daher die kontinuierliche Simulation über eine längere Dauer, meist über mehrere Jahre. Sowohl Vorgeschichte wie auch Ereignisverlauf ergeben sich dabei jeweils aus dem meteorologischen Modellantrieb, welcher wiederum auf konkreten Messwerten basiert. Die simulierten langen Reihen werden anschliessend mit konventioneller Extremwertstatistik ausgewertet. Verwendet man als Grundlage ein geeignetes prozessorientiertes hydrologisches Modell (also ein Grey- oder White-Box-Modell), besteht gegenüber anderen Schätzverfahren eine Reihe von entscheidenden Vorteilen (siehe z. B. Beven, 2001):

- Es resultiert eine komplette Ganglinie des Gebietsabflusses, nicht bloss ein Spitzenabflusswert. Dadurch können weitere relevante Hochwasserkennwerte erhoben werden, wie etwa die Volumina des Direktabflusses oder die Überschreitungsdauer von Schwellenwerten.
- Die Wahl der Wiederkehrperiode ist lediglich gegen oben durch die dreifache Anzahl simulierter Jahre beschränkt (DVWK, 1999), ansonsten aber frei.
- Die heikle Festlegung von Abflussbeiwerten zur Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags erübrigt sich.
- Die Randbedingungen (Vorfeuchte, Verlauf der Niederschlagsintensität) müssen nicht geschätzt werden; sie leiten sich in der Simulation jeweils vom meteorologischen Modellinput ab (siehe Berthet et al., 2009).
- Die problematische Verknüpfung von Extremniederschlägen mit Extremabflüssen gleicher Jährlichkeit ist nicht nötig (vgl. Naef et al., 1986); Intensitäten und Mengen der Niederschläge werden im Modell über die gesamte Simulationsdauer hinweg sowohl hydrologisch und wie auch meteorologisch sinnvoll berücksichtigt.

Auch bei der kontinuierlichen Simulation besteht im Prinzip das Problem, dass sich die hydrologischen Prozesse unter Extrembedingungen verändern können. Dank der grösseren Prozessnähe sind die daraus erwachsenden Einschränkungen aber wesentlich geringer als bei den beiden weiter oben vorgestellten Verfahrensgruppen. Nachteilig ist vor allem der grosse Aufwand, welcher für eine Modellierung üblicherweise nötig ist – namentlich bei der Aufbereitung von Raumdaten und meteorologischen Daten. Zudem müssen im Normalfall Abflussmessungen zur Verfügung stehen, anhand welcher die freien Parameter des Modells kalibriert werden können. Sind diese Messreihen lang, ist eine extremwertstatistische Analyse wesentlich einfacher durchzuführen. Bei Vorliegen kurzer Reihen können mit Hilfe eines Modells allenfalls längere Reihen simuliert werden, deren Spitzenwerte dann wiederum für eine Extrapolation verwertbar sind. Stehen keine Abflussmessungen für eine Kalibrierung zur Verfügung, kann versucht werden, die freien Modellparameter über eine Regionalisierung herzuleiten. Dieser Weg ist sehr aufwendig und birgt einige Unsicherheiten (Beven, 2007); zudem benötigt er als Grundlage eine grosse Zahl gemessener Gebiete mit entsprechenden Kalibrierungen. Sowohl für die Kalibrierung wie auch für die Regionalisierung gilt, dass für den Anwendungsraum ausführliche Gebietsinformationen vorhanden sein müssen, allem voran möglichst hochauflösende und zuverlässige Daten zu Topographie (digitales Höhenmodell), Landnutzung und Bodeneigenschaften.

Wegen ihrer einfachen praktischen Durchführbarkeit kamen in der Schweiz bisher vor allem Verfahren der Extremwertanalyse (gemessene Gebiete) und der regionalhydrologischen Analyse

(ungemessene Gebiete) zum Einsatz (Spreafico et al., 2003). Beide Ansätze haben wie oben beschrieben ihre spezifischen Einschränkungen, welche im Endeffekt zu grossen Unsicherheiten und Unterschieden in den Schätzwerten führen. In den vergangenen Jahren konnte jedoch der Ansatz der Niederschlag-Abfluss-Modelle für eine praktische Anwendung in ungemessenen Gebieten der Schweiz weiterentwickelt werden (Viviroli, 2007; Viviroli et al., 2009a und 2009b). Darauf wird in Kapitel 7 genauer eingegangen.

Literatur

- Barben, M., 2003. Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in der Schweiz. *Geographica Bernensia*, G71. Geographisches Institut der Universität Bern.
- Berthet, L., Andréassian, V., Perrin, C., Javelle, P., 2009. How crucial is it to account for the antecedent moisture conditions in flood forecasting? Comparison of event-based and continuous approaches on 178 catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 819–831.
- Beven, K. J., 2001. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. Wiley, Chichester, UK.
- Beven, K. J., 2007. Towards integrated environmental models of everywhere: uncertainty, data and modelling as a learning process. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), 460–467.
- Dawson, C. W., Abrahart, R. J., Shamseldin, A. Y., Wilby, R. L., 2006. Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 319, 391–409.
- Diezig, R., 2006. Hochwasserprozessstypen der Schweiz. Eine prozessorientierte Typisierung grosser Hochwasserereignisse in ausgewählten schweizerischen Einzugsgebieten. Diplomarbeit. Publikationen Gewässerkunde, 361. Geographisches Institut der Universität Bern.
- Dobmann, J., 2009. Hochwasser, Verbauungen und Feststofflieferung in einem Wildbach – Praxishilfe zur Gesamtbeurteilung des Gefahrenpotenzials von Wildbacheinzugsgebieten. Dissertation. Geographisches Institut der Universität Bern.
- Düster, H., 1994. Modellierung der räumlichen Variabilität seltener Hochwasser in der Schweiz. Dissertation. *Geographica Bernensia*, G44. Geographisches Institut der Universität Bern.
- DVWK [Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau], 1999. Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 251. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn.
- Elsasser, A., 1996. Ein Beitrag zur zeitlichen Extrapolation von Hochwasserabflüssen – Möglichkeiten und Grenzen des Modells AGREGEE in ausgewählten schweizerischen Einzugsgebieten. Diplomarbeit. Publikationen Gewässerkunde, 177. Geographisches Institut der Universität Bern.
- Fontaine, T. A., 1995. Rainfall-runoff model accuracy for an extreme flood. *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 121(4), 365–374.
- Gaume, E., 2006. On the asymptotic behavior of flood peak distributions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 233–243.
- Gees, A., 1997. Analyse historischer und seltener Hochwasser in der Schweiz: Bedeutung für das Bemessungshochwasser. Dissertation. *Geographica Bernensia*, G53. Geographisches Institut der Universität Bern.
- Helbling, A., Kan, C., Vogt, S., 2006. Dauerregen, Schauer oder Schmelze – welche Ereignisse lösen in der Schweiz die Jahreshochwasser aus? *wasser, energie, luft*, 98(3), 249–254.
- IH [Institute of Hydrology], 1999. *Flood Estimation Handbook*. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Klemeš, V., 2000. Tall tales about tails of hydrological distributions. Parts I and II. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(3), 227–239.
- Kölla, E., 1986. Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. *Mitteilungen der VAW*, 87. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.
- Merz, R., 2002. Understanding and Estimating Flood Probabilities at the Regional Scale. Dissertation. *Wiener Mitteilungen Wasser · Abwasser · Gewässer*, 181. Technische Universität Wien.
- Merz, R., Blöschl, G., 2005. Flood frequency regionalisation spatial proximity vs. catchment attributes. *Journal of Hydrology*, 302, 283–306.
- Merz, R., Blöschl, G., Piock-Ellena, U., 1999. Zur Anwendbarkeit des Gradex-Verfahrens in Österreich. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 51(11–12), 291–305.
- Miegel, K., Büttner, U., 2003. Zum Einfluss der Datenverfügbarkeit und von extremen Ereignissen auf das Ergebnis hochwasserstatistischer Analysen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 47(4), 94–102.

- Mudelsee, M., Deutsch, M., Börngen, M., Tetzlaff, G., 2006. Trends in flood risk of the River Werra (Germany) over the past 500 years. *Hydrological Sciences Journal*, 51(5), 818–863.
- Naef, F., Zuidema, P., Kölla, E., 1986. Abschätzung von Hochwassern in kleinen Einzugsgebieten. In: Spreafico, M., ed. *Abschätzung der Abflüsse in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessung*. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, 33. Kümmerli und Frey, Bern, p. 195–233.
- Naef, F., 2007. Extreme Hochwasser Verstehen – Beispiele aus der Schweiz. In: Gutknecht D., ed. *Extreme Abflussereignisse: Dokumentation - Bedeutung - Bestimmungsmethoden*. Wiener Mitteilungen Wasser · Abwasser · Gewässer, 206. Technische Universität Wien, p. 59–68.
- Niggli, M., 2004. Combination bayésienne des estimations régionales des crues: concept, développement et validation. Thèse EPFL, 2895. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Pfandler, M., 2001. Adapting, Analysing and Evaluating a Flexible Index Flood Regionalisation Approach for Heterogeneous Geographical Environments. Schriftenreihe des Instituts für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, 8. Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich.
- Rickli, C., Forster, F., 1997. Einfluss verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, 148(5), 367–385.
- Spreafico, M., Weingartner, R., Barben, M., Ryser, A., 2003. Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten – Praxishilfe. Berichte des BWG, Serie Wasser, 4. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- Uhlenbrook, S., Steinbrich, A., 2002. Einflussgrößen auf die Hochwasserbildung im regionalen Massstab. *Wasser & Boden*, 54(10), 8–15.
- Viviroli, D., 2007. *Ein prozessorientiertes Modellsystem zur Ermittlung seltener Hochwasserabflüsse für unbeobachtete Einzugsgebiete der Schweiz*. Geographica Bernensia, **G77**. Geographisches Institut der Universität Bern, ISBN 978-3905835-00-7.
- Viviroli, D., Zappa, M., Schwanbeck, J., Gurtz, J., Weingartner, R., 2009a. Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part I: Modelling framework and calibration results. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 191–207, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.08.023.
- Viviroli, D., Mittelbach, H., Gurtz, J., Weingartner, R., 2009b. Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part II: Parameter regionalisation and flood estimation results. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 208–225, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.08.022.
- Vogel, R. M., Thomas, W. O., McMahon, T. A., 1993. Flood-Flow Frequency Model Selection in South-western United States. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(3), 353–366.
- Vogt, S., 2001. Zur Abschätzung von Hochwasser in kleinen Wildbacheinzugsgebieten. Diplomarbeit. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- Vogt, S., Forster, F., Hegg, C., 2002. Clark-WSL – a method for the estimation of flood hydrographs in small torrential catchments. In: Spreafico M., Weingartner R., eds. *International Conference on Flood Estimation (March 6–8, 2002 in Bern, Switzerland)*. Proceedings. CHR-Report II-17. International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Lelystad, p. 739–747.
- Weingartner, R., 1999. Regionalhydrologische Analysen – Grundlagen und Anwendungen. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, 37. Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie, Bern.
- Wood, E. F., Sivapalan, M., Beven, K. J., 1990. Similarity and scale in catchment storm response. *Reviews of Geophysics*, 28(1), 1–18.